



⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 101 47 429 A 1

⑤ Int. Cl. 7:  
H 04 L 12/54  
H 04 L 12/407

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

⑪ Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

⑫ Erfinder:

Arnold, Johann, 90530 Wendelstein, DE; Bernecker, Herbert, 91560 Heilsbronn, DE; Brückner, Dieter, 96199 Zapfendorf, DE; Goetz, Franz-Josef, 91180 Heideck, DE; Klotz, Dieter, Dr., 90768 Fürth, DE; Schimmer, Jürgen, 90473 Nürnberg, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

④ System und Verfahren zur Planung des Datenverkehrs in Kommunikationssystemen, insbesondere Real-time Ethernet

⑤ Die Erfindung betrifft ein System und Verfahren zur Planung des Datenverkehrs in Kommunikationssystemen mit wenigstens zwei Teilnehmern, insbesondere Realtime Ethernet, wobei wenigstens ein Toleranzbereich abhängig vom jeweils geplanten Empfangszeitpunkt eines Datentelegramms generiert wird, wobei Datentelegramme, die außerhalb eines solchen Toleranzbereichs empfangen werden, gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt bearbeitet werden.

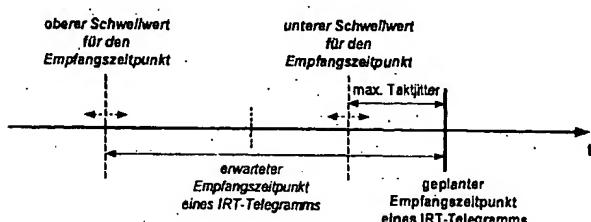


FIG 1: Empfangszeitpunkt Datentelegramm

DE 101 47 429 A 1

X

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein System und Verfahren zur Planung des Datenverkehrs in Kommunikationssystemen, insbesondere Realtime Ethernet.

[0002] Unter einem synchronen, getakteten Kommunikationssystem mit Äquidistanz-Eigenschaften versteht man ein System aus wenigstens zwei Teilnehmern, die über ein Datennetz zum Zweck des gegenseitigen Austausches von Daten bzw. der gegenseitigen Übertragung von Daten miteinander verbunden sind. Dabei erfolgt der Datenaustausch zyklisch in äquidistanten Kommunikationszyklen, die durch den vom System verwendeten Kommunikationstakt vorgegeben werden. Ein äquidistanter deterministischer zyklischer Datenaustausch in Kommunikationssystemen basiert auf einer gemeinsamen Takt- bzw. Zeitbasis aller an der Kommunikation beteiligten Komponenten. Die Takt- bzw. Zeitbasis wird von einer ausgezeichneten Komponente (Taktschläger) zu den anderen Komponenten übertragen. Bei isochronem Realtime-Ethernet wird der Takt bzw. die Zeitbasis von einem Synchronisationsmaster durch das Senden von Synchronisationstelegrammen vorgegeben. Teilnehmer sind beispielsweise zentrale Automatisierungsgeräte, Programmier-, Projektierungs- oder Bediengeräte, Peripheriegeräte wie z. B. Ein-/Ausgabe-Baugruppen, Antriebe, Aktoren, Sensoren, speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) oder andere Kontrolleinheiten, Computer, oder Maschinen, die elektronische Daten mit anderen Maschinen austauschen, insbesondere Daten von anderen Maschinen verarbeiten. Teilnehmer werden auch Netzwerknoten oder Knoten genannt. Unter Kontrolleinheiten werden im folgenden Regler- oder Steuerungseinheiten jeglicher Art verstanden, aber auch beispielsweise Switches und/oder Switch-Controller. Als Datennetze werden beispielsweise Bussysteme wie z. B. Feldbus, Profibus, Ethernet, Industrial Ethernet, FireWire oder auch PC-interne Bussysteme (PCI), etc., insbesondere aber auch isochrones Realtime Ethernet verwendet.

[0003] Datennetze ermöglichen die Kommunikation zwischen mehreren Teilnehmern durch die Vernetzung, also Verbindung der einzelnen Teilnehmer untereinander. Kommunikation bedeutet dabei die Übertragung von Daten zwischen den Teilnehmern. Die zu übertragenden Daten werden dabei als Datentelegramme verschickt, d. h. die Daten werden zu mehreren Paketen zusammengepackt und in dieser Form über das Datennetz an den entsprechenden Empfänger gesendet. Man spricht deshalb auch von Datenpaketen. Der Begriff Übertragung von Daten wird dabei hier synonym zur oben erwähnten Übertragung von Datentelegrammen oder Datenpaketen verwendet.

[0004] In verteilten Automatisierungssystemen, beispielsweise im Bereich Antriebstechnik, müssen bestimmte Daten zu bestimmten Zeiten bei den dafür bestimmten Teilnehmern eintreffen und von den Empfängern verarbeitet werden. Man spricht dabei von echtzeitkritischen Daten bzw. Datenverkehr, da ein nicht rechtzeitiges Eintreffen der Daten am Bestimmungsort zu unerwünschten Resultaten beim Teilnehmer führt, im Gegensatz zur nicht echtzeitkritischen, beispielsweise inter- bzw. intranetbasierten Datenkommunikation. Gemäß IEC 61491, EN61491 SERCOS interface – Technische Kurzbeschreibung ([http://www.sercos.de/deutsch/index\\_deutsch.htm](http://www.sercos.de/deutsch/index_deutsch.htm)) kann ein erfolgreicher echtzeitkritischer Datenverkehr der genannten Art in verteilten Automatisierungssystemen gewährleistet werden.

[0005] In der deutschen Patentanmeldung DE 100 58 524.8 ist ein System und ein Verfahren zur Übertragung von Daten über schaltbare Datennetze, insbesondere das Ethernet, offenbart, das einen Mischbetrieb von

echtzeitkritischer und nichtechtzeitkritischer, insbesondere Inter- bzw. Intranet basierter Datenkommunikation erlaubt.

[0006] Automatisierungskomponenten (z. B. Steuerungen, Antriebe, ...) verfügen heute im Allgemeinen über eine Schnittstelle zu einem zyklisch getakteten Kommunikationssystem. Eine Ablaufebene der Automatisierungskomponente (Fast-cycle) (z. B. Lageregelung in einer Steuerung, Drehmomentregelung eines Antriebs) ist auf den Kommunikationszyklus synchronisiert. Dadurch wird der Kommunikationstakt festgelegt. Andere, niederperformante Algorithmen (Slow-cycle) (z. B. Temperaturregelungen) der Automatisierungskomponente können ebenfalls nur über diesen Kommunikationstakt mit anderen Komponenten (z. B. Binärschalter für Lüfter, Pumpen, ...) kommunizieren, obwohl ein langsamerer Zyklus ausreichend wäre. Durch Verwendung nur eines Kommunikationstaktes zur Übertragung von allen Informationen im System entstehen hohe Anforderungen an die Bandbreite der Übertragungsstrecke.

[0007] Für die Prozesssteuerung und -überwachung in der automatisierten Fertigung und insbesondere bei digitalen Antriebstechniken sind sehr schnelle und zuverlässige Kommunikationssysteme mit vorhersagbaren Reaktionszeiten erforderlich.

[0008] Mit parallelen Bussystemen, wie beispielsweise SMP, ISA, PCI oder VME, ist eine sehr schnelle und einfache Kommunikation zwischen verschiedenen Baugruppen aufbaubar. Diese bekannten Bussysteme finden ihren Einsatz dabei insbesondere in Rechnern und PCs.

[0009] Grundvoraussetzung für den zyklischen Echtzeit-Datenverkehr in Ethernet-Netzwerken (IRT-Kommunikation) ist ein zeitabhängiges Senden und Empfangen von Ethernet-Telegrammen. Für jeden IRT-Ethernet-Switch sind daher Sende- und Empfangslisten notwendig, die zyklisch, in jedem Isochronzyklus abgearbeitet werden. Die Abarbeitung ist dabei an die Zykluszeit innerhalb eines Isochronzyklus gebunden. Ein zur Zeit  $t_1$  an Switch 1 versendetes Ethernet-Telegramm, muss unter Berücksichtigung der Netzlaufzeit  $\Delta t$  zum Zeitpunkt  $t_2 = t_1 + \Delta t$  an Switch 2 empfangen werden. Dabei gilt:

- die Zykluszeit in beiden Ethernet-Switches (Switch 1 und 2) muss synchron sein
- die Netzlaufzeit von Switch 1 zu Switch 2 muss bekannt sein
- die Hin- und Rückleitung müssen exakt gleich lang sein

[0010] Da die oben genannten Voraussetzungen in realen Netzwerken nicht exakt eingehalten werden können, wird ein Ethernet-Telegramm, welches zur Zeit  $t_1$  versendet wird, innerhalb eines Toleranzbandes um  $t_2$  empfangen.

[0011] Dabei ist die synchrone Zykluszeit ein jitterbehafelter Parameter, der sich aufgrund der Quarztoleranzen und Synchronisationseffekte der PHY-Baustein ergibt.

[0012] Die Netzlaufzeiten bzw. die Symmetrie der Leitungen ist hingegen eine Fehlergröße, die sich im Betrieb als konstanter Faktor darstellt.

[0013] Die Planung der Sende- und Empfangszeitpunkte wird von einer Planungs-Software durchgeführt. Die Software geht dabei von exakten Verhältnissen des Netzwerkes, wie sie oben aufgeführt sind, aus. Um einen hohen Datendurchsatz zu erreichen ist es jedoch notwendig, die Ethernet-Telegramme dicht gepackt zu verschicken. Aufgrund der Netzunsicherheiten muss die Planungs-Software jedoch größere Ruhezeiten auf dem Netzwerk einrechnen als dies bei exakten Verhältnissen notwendig wäre. Eine weniger kompakte Datenübertragung und damit ein Performance-



Verlust auf dem Netzwerk ist die Folge.

[0014] Nunmehr wird eine exakte zeitgesteuerte Datenübertragung auf Ethernet-Netzwerken durchgeführt, so dass dieses Problem gelöst werden muss.

[0015] Über eine Einheit am Empfangs-Switch, wird der tatsächliche Empfangszeitpunkt des Echtzeit-Telegramms überwacht. Dabei wird über einen oberen und unteren Empfangs-Schwellwert ein Toleranzbereich gebildet, in dem das Telegramm empfangen werden muss. Die Schwellwerte geben die Zeit relativ zum geplanten Empfangszeitpunkt an. 10 [0016] Wird ein Telegramm ausserhalb des Toleranzbereiches empfangen, so wird das Telegramm in einem Diagnose-Speicher aufgezeichnet und der Planungs-Software durch eine Lesemöglichkeit auf diesen Diagnose-Speicher zugänglich gemacht. Mit Hilfe des dort abgelegten tatsächlichen Empfangszeitpunkt, kann der geplante Empfangs- bzw. Sendezeitpunkt des einspeisenden Switches so verschoben werden, dass der Empfangszeitpunkt im nächsten Zyklus innerhalb des Toleranzbereiches liegt. 15

[0017] Ein oberer Schwellwert ist notwendig, um zu früh empfangene Telegramme zu erkennen und mit Hilfe der Planungs-Software zu korrigieren. 20

[0018] Ein unterer Schwellwert ist notwendig, um den jitterbedingten max. Synchronisationsfehler der Zykluszeit zu berücksichtigen. Dieser Fehler kann nicht korrigiert werden 25 und muss immer mit eingeplant werden. Ein unterer Schwellwert der dem geplanten Empfangszeitpunkt entspricht ist daher nicht zulässig. Telegramme, welche zu spät empfangen werden, also nach dem geplanten Empfangszeitpunkt, werden ebenfalls im Diagnose-Speicher aufgezeichnet und zusammen mit der tatsächlichen Empfangszeit der Planungs-Software zur Verfügung gestellt. 30

[0019] Eine Optimierung der Planung des IRT-Datenverkehrs ist dann erreicht, wenn alle IRT-Telegramme innerhalb eines Toleranzbereiches empfangen werden, in der obere 35 und untere Schwelle eng beieinander liegen und der max. Taktjitter berücksichtigt ist.

[0020] Mit diesem Verfahren ist eine Optimierung der Planung im Betrieb möglich. Eine Planungs-Software setzt bei der ersten Planung lediglich auf Netz-Parameter auf, die sie 40 über das Ethernet-Netzwerk selbst oder über eine externe Einspeisung erhält. Ungenauigkeiten wie:

- Taktjitter zwischen zwei benachbarten Switches,
- ungleiche Leitungslängen und damit Laufzeiten,

können jedoch nicht bereits zu Beginn eingeplant werden, da sie nicht bekannt sind.

[0021] Hardwareunterstützung zur Optimierung der IRT-Planung, die während des Betriebes des Netzwerkes erfolgen kann. Dadurch wird ein besserer Datendurchsatz und damit eine höhere Performance des Netzwerkes erreicht. Außerdem ist eine erneute Abschaltung des Netzwerkes nicht notwendig. 55

55

#### Aufbau eines IRT-Ethernet-Netzwerkes

[0022] Von besonderem Vorteil ist es darüber hinaus, dass die offenbarten Verfahren in Automatisierungssystemen, insbesondere bei und in Verpackungsmaschinen, Pressen, 60 Kunststoffspritzmaschinen, Textilmaschinen, Druckmaschinen, Werkzeugmaschinen, Roboter, Handlingssystemen, Holzverarbeitungsmaschinen, Glasverarbeitungsmaschinen, Keramikverarbeitungsmaschinen sowie Hebezeugen eingesetzt bzw. verwendet werden können. 65

[0023] Im Weiteren werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung mit Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0024] Fig. 1 Empfangszeitpunkt Datentelegramm,  
[0025] Fig. 2 Planung Echtzeitdatenverkehr vor und nach Optimierung.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Planung des Datenverkehrs in Kommunikationssystemen mit wenigstens zwei Teilnehmern, insbesondere Realtime Ethernet, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Toleranzbereich abhängig vom jeweils geplanten Empfangszeitpunkt eines Datentelegramms generiert wird, wobei Datentelegramme, die ausserhalb eines solchen Toleranzbereichs empfangen werden, gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt bearbeitet werden.
2. System zum Durchführen eines Verfahrens nach Anspruch 1.

---

#### Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---



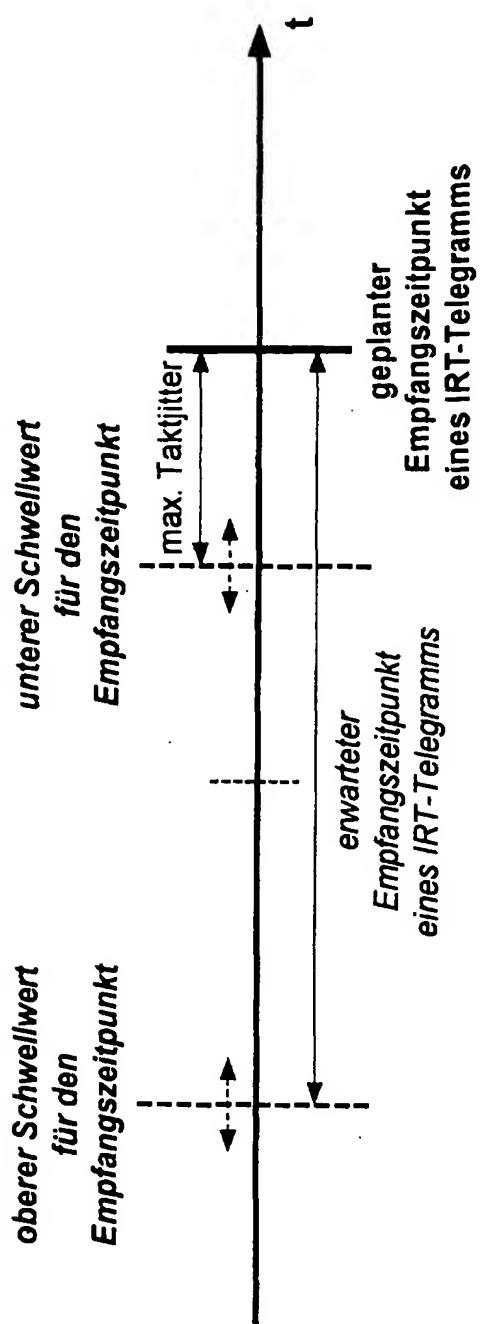


FIG 1: Empfangszeitpunkt Datentelegramm

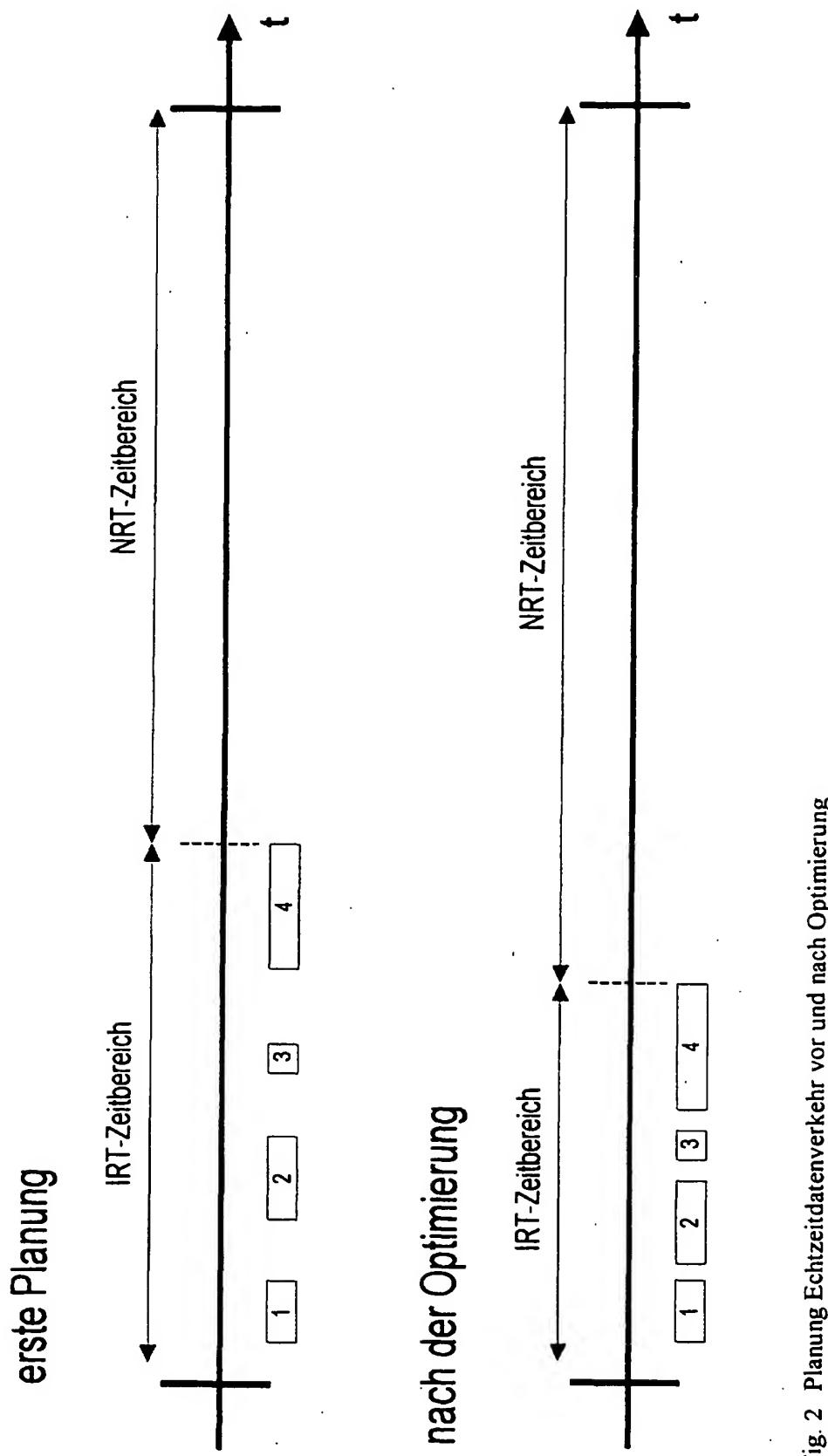


Fig. 2 Planung Echtzeiddatenverkehr vor und nach Optimierung

